

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

NÁVRH A REALIZACE DOPLŇKOVÉHO SENSORICKÉHO SYSTÉMU PRO EXPERIMENTÁLNÍ VOZIDLO

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF COMPLEMENTARY SENSORY SYSTEM FOR
EXPERIMENTAL CAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MATĚJ ŠIMURDA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROBERT GREPL, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Matěj Šimurda

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh a realizace doplňkového sensorického systému pro experimentální vozidlo

v anglickém jazyce:

Design and implementation of complementary sensory system for experimental car

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní této práce bude návrh a realizace sensoriky v oblasti detekce překážek, teploty motorů, polohy tlumících systémů apod. Předpokládá se zpracování těchto sensorických informací pomocí mikrokontroléru PIC (automatické generování kódu ze Simulinku) a komunikace po sběrnici CAN.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Rešerše v oblastech: kolizní sensory, sensory vzdálenosti, posunutí, teploty.
- 2) Navrhnout, implementovat a otestovat systém kolizních sensorů pro zabránění srážky vozidla s pevnou nebo pohyblivou překážkou. Řídicí jednotka bude tvořena mikrokontrolérem dsPIC.
- 3) Navrhnout, implementovat a otestovat systém sensorů pro měření teploty motorů a polohy tlumičů.
- 4) Provedení testů na reálném experimentální vozidle. Dokumentace několika testovacích scénářů.

Seznam odborné literatury:

- Valášek, M.: Mechatronika, Vydavatelství ČVUT 1995
- Dušek, F.: Matlab a Simulink, skriptum ČVUT
- microchip.com

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 11.11.2009

L.S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a realizací doplňkového senzorického systému pro reálný projekt: "Experimentální čtyřkolové vozidlo". Jedná se o teplotní senzory, senzory polohy tlumičů a senzory vzdálenosti (kolizní senzory).

V úvodních kapitolách je provedena rešerše v oblasti teplotních a kolizních senzorů a dále příklady reálných aplikací kolizních senzorů v průmyslu. V dalších kapitolách je pak vždy rozebrán jeden druh sensoriky, a to od jeho teoretického návrhu, až po finální realizaci a zhodnocení dosažených výsledků.

V kapitole teplotních senzorů je uveden teoretický základ pro modelování přenosu tepla v elektromotoru, stavový popis systému a realizace předběžného měření ohřevu vinutí a pláště pro zjištění neznámých konstant v modelu. Dále je uvedena volba vhodného senzoru a vytváření funkčního kódu pro komunikaci senzoru s procesorem dsPIC pomocí sběrnice I2C, která byla použita pro komunikaci se všemi senzory.

V kapitole senzorů polohy tlumičů je použit jednostranný ohybový senzor. Z něho bylo proměnné napětí zpracováno pomocí AD převodníku na diskrétní signál a posíláno do řídicí jednotky.

V kapitole kolizních senzorů je používán levný IR snímač polohy, výstupní napětí je opět zpracováno pomocí AD převodníku. Je uveden způsob filtrování signálu a implementace systému pro zabránění srážky vozidla s překážkou do modelu řízení.

Abstract

This thesis deals with design and implementation of complementary sensory system for experimental car. It deals with temperature sensors, sensors of dumper position and collision avoidance sensors.

The first part is focused on background research of temperature sensors and distance sensors. The individual parts of sensory system are described in the following chapters. All chapters contain theoretical design of system as well as final implementation and summary.

The description of model for simulating heat transmission in electromotor is described in the chapter of temperature sensory system as well as preliminary measurement of heating-up the winding and shield for establishing the unknown constants in model. The making of functional code to reach the successful communication between the sensor and dsPIC microcontroller via I2C interface is also described. This interface was used for all sensors of the system.

The flex sensors are used in the chapter of dumper position sensors. Variable voltage on it is converted by ADC into discrete signal and sent to the control unit.

The cheap IR distance sensors are used in the chapter of collision avoidance sensors. Output voltage is also converted by ADC.

Klíčová slova

I2C, teplotní senzory, ohybové senzory, kolizní senzory, VUT Brno

Keywords

I2C, temperature sensors, Flex sensors, collision avoidance sensors, VUT Brno

ŠIMURDA, M. *Návrh a realizace doplňkového sensorického systému pro experimentální vozidlo*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 33 s. Vedoucí Ing. Robert Grepl, Ph.D.

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím uvedené literatury.

Matěj Šimurda, Brno, 2010

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří nějakým způsobem přispěli ke vzniku této práce. Po odborné stránce patří velký dík mému vedoucímu, Ing. Robertu Greplovi, Ph.D. a vedoucímu našeho týmu, Bc. Josefu Vejlupkovi. Oběma děkuji za cenné rady, trpělivost a věnovaný čas. Dále pak děkuji Ing. Radku Vlachovi, Ph.D. za cenné rady a poskytnutí vhodného zařízení při práci s teplotními senzory a všem spolupracovníkům z Laboratoře Mechatroniky. V osobním životě bych pak chtěl poděkovat zejména svým rodičům za velké morální i materiální zázemí po celou dobu mého studia. Dík patří i mému bratrovi a v neposlední řadě děkuji své přítelkyni za podporu a trpělivost po celou dobu práce.

Obsah

1	Úvod	3
2	Práce ostatních členů týmu	4
3	Rešerše v oblasti teplotních senzorů a popis I2C sběrnice	5
3.1	Kontaktní teplotní senzory	5
3.2	Bezkontaktní teplotní senzory	8
3.3	I2C sběrnice	9
4	Rešerše v oblasti kolizních senzorů	10
4.1	Kolizní senzory jako takové a jejich využití	10
4.2	Kolizní senzory v našem pojetí	10
4.2.1	Druhy senzorů	10
4.3	Aplikace kolizních senzorů v praxi	11
4.3.1	Volvo City Safety system	11
4.3.2	Parkovací senzory	12
4.3.3	Automatické systémy parkování	12
5	Návrh a realizace teplotní senzoriky	13
5.1	Předběžné měření teplot vinutí a pláště	13
5.1.1	Motivace pro provedení experimentu	13
5.1.2	Teoretické předpoklady a popis měření	13
5.1.3	Zhodnocení výsledků	15
5.2	Návrh a výroba senzoriky	17
5.2.1	Naše volba senzoru	17
5.2.2	Aplikace I2C sběrnice a vytvoření funkčního kódu pro komunikaci	18
5.2.3	Realizace senzoriky	19
5.3	Zhodnocení výsledků	20
6	Návrh a realizace senzoriky pro měření polohy tlumičů	21
6.1	Možnosti měření	21
6.2	Návrh a výroba senzoriky	22
6.2.1	Naše volba	22
6.2.2	Uspořádání senzoriky	22
6.2.3	Upevnění senzorů	23
6.3	Měření a vyhodnocování výsledků	23
7	Návrh a tvorba systému kolizních senzorů	25
7.1	Idea o funkci senzorů a její nadřazenosti hlavnímu algoritmu řídicí jednotky	25
7.2	Realizace senzoriky	25
7.2.1	Naše volba senzoru	25
7.2.2	Problémy se značným šumem výstupního signálu	26
7.2.3	Filtrování signálu	27
7.2.4	Aplikace senzoriky na model řízení	28
7.3	Testovací jízdy	28

OBSAH

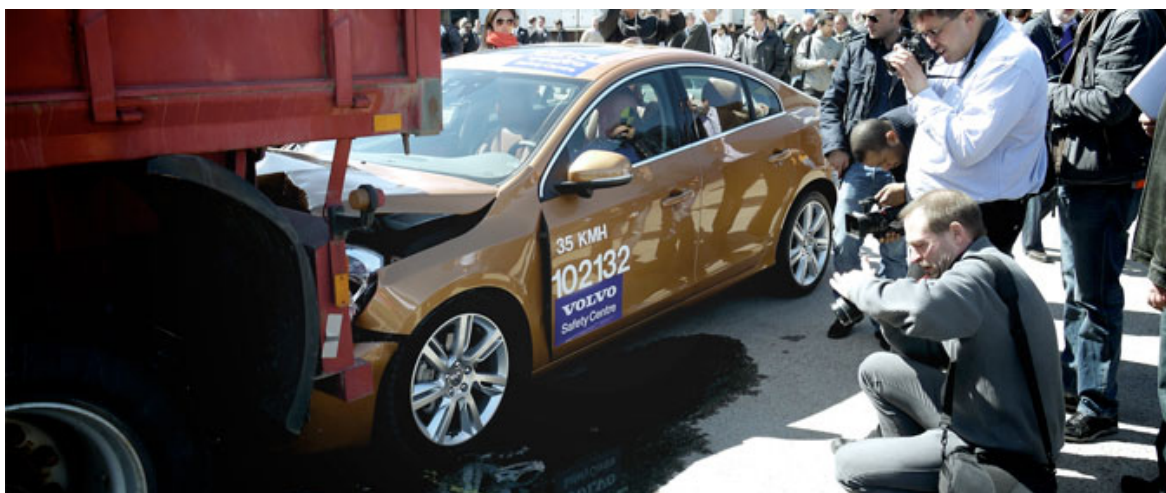
8	Závěr	29
9	Seznam použitých zkratek a symbolů	30
10	Seznam příloh	31

1. Úvod

Senzory pro snímání různých veličin jsou dnes všude okolo nás. Buď jsou nezbytně nutné nebo zajišťují větší komfort, popřípadě bezpečnost při užívání rozličných zařízení. Jsou nedílnou součástí běžného života. Při couvání s novým autem máte k dispozici grafický a zvukový systém, který vás upozorňuje na blížící se překážku. Do výtahu se nebojíte vkročit i na poslední chvíli, když už se dveře zavírají. Víte, že vás dveře nijak bolestivě nesevrou. A když necháte dlouho otevřenou ledničku, patřičně důrazně jste na to upozorněni. V tom všem hrají senzory velkou roli.

A na senzorech je postaveno i zadání této práce. Doplnková sensorika se na automobilech stále více rozvíjí a záměrem této práce bylo alespoň ve zjednodušeném měřítku modelovat některé základní druhy senzorů. Stejně tak byla snaha o vytvoření jednoduchého systému senzorů pro zabránění srážky vozidla s překážkou, což je už systém poněkud složitější, o čemž jsem se sám přesvědčil.

Týden před odevzdáním práce se ke mně dostalo video z neúspěšné prezentace firmy Volvo, kdy před zraky stovek novinářů jejich auto v plné rychlosti nabouralo do přívěsu kamionu, místo aby bezpečně zastavilo. Příliš do smíchu mi z toho však nebylo. Svým způsobem jsem s vývojáři z Volva soucítit...



Obrázek 1.1: Neúspěšná prezentace Volvo City Safety [28]

2. Práce ostatních členů týmu

Před následujícími kapitolami týkajícími se splnění jednotlivých bodů našeho zadání je na místě zdůraznit, že celá práce se týkala týmového projektu. Proto zde uvedeme i cíle prací ostatních kolegů, kteří se na projektu podíleli.

Bc. Josef Vejlupek[20]

Práce popisuje návrh, vývoj a realizaci palubní elektroniky pro řízení pohonů, jejich výkonové buzení, elektroniku dálkového ovládání vozidla, implementaci základního firmware pro řídicí jednotky a testování řídicí jednotky metodikou HIL.

Bc. Michal Jasanský[6]

Práce se zabývá vývojem dynamických modelů pro odhad stavu a řízení trakce vozidla se čtyřmi plně říditelnými koly. Z mnoha variant popsanych v literatuře jsou vybrány a modifikovány takové modely, které dostatečně věrohodně postihují vlastnosti reálného experimentálního vozidla a zároveň jsou výpočetně zvládnutelné v reálném čase.

Bc. Vojtěch Lamberský[8]

Práce se zabývá vývojem jednoduchých algoritmů pro procesory dsPIC s využitím nástroje Matlab Embedded Koder, připojením karty PhyTec s procesorem MPC555 (s procesory dsPIC komunikuje prostřednictvím eCAN rozhraní), testováním a laděním algoritmů implementovaných ve výpočetních jednotkách umístěných na experimentálním vozidle.

Filip Vadlejch[18]

Práce se zabývá konstrukčním návrhem podvozku vozidla se čtyřmi řízenými a hnanými koly. Předpokládá se provoz ve vnitřním i vnějším prostředí.

3. Rešerše v oblasti teplotních senzorů a popis I2C sběrnice

V této kapitole rozebereme jednotlivé druhy teplotních senzorů. Problematika nebude jistě zcela vyčerpána. Pokusíme se však uvést základní rozdělení a zmínit se o nejznámějších typech teplotních senzorů. Sensory nejdříve rozdělíme zcela empiricky na *kontaktní* a *bezkontaktní* dle [13], odkud byly ostatně čerpány i základní informace o mnoha zařízeních. V závěru této kapitoly lehce odbočíme a alespoň stručně popíšeme sběrnici I2C se kterou se intenzivně pracovalo během celé realizace sensorického systému.

3.1. Kontaktní teplotní senzory

Tyto senzory v podstatě měří svojí vlastní teplotu. Celá myšlenka je založena na tom, že senzor a předmět, ke kterému je připevněn, jsou v *tepelné rovnováze*. Jinak řečeno, mezi tělesy neprobíhá žádný tepelný tok. Tato podmínka není samozřejmě nikdy ideálně splněna a vždy musíme uvažovat o určité chybě, které se dopustíme během měření. Zejména snímání teploty povrchů je komplikované. Do hry vstupuje mnoho faktorů. Obzvláště problematické je použití takového senzoru, když se povrch vůči senzoru pohybuje relativní rychlostí. Proto obecně měření povrchů se velmi často řeší senzory bezkontaktními.

Kontaktní teplotní senzory se vyrábějí v mnoha provedeních a můžeme je dělit do několika skupin:

- termočlánky (termoelektrické snímače teploty)
- termistory
- kapalinové teploměry
- bimetalové teploměry
- polovodičové teplotní senzory
- teplotní indikátory
- a další...

Dále si některé typy kontaktních senzorů popíšeme podrobněji.

3.1. KONTAKTNÍ TEPLOTNÍ SENZORY

Termočlánky

Patří mezi jedny z nejvíce užívaných způsobů, jak jednoduše a rychle změřit teplotu. Princip jejich činnosti je založen na Seebeckově jevu [26] (mezi 2 vodiči existuje elektrické napětí, pokud je mezi nimi teplotní gradient ΔT). Termočlánek se skládá ze dvou kovů (A,B), které jsou zapojeny do série (kov A - spoj AB - kov B - spoj BA - kov A). Během měření teploty se pak dosáhne toho, že spoje nabydou různých teplot, čímž na nich vznikne *elektrický potenciál*, který má za následek *tok elektrického proudu*. Termočlánky dokáží snímat teploty ve velkém rozsahu (až 2300°C) a jsou poměrně malých rozměrů. Proto se jich hojně využívá v průmyslu. Podle toho, jaké kovy jsou pro výrobu použity, dělíme termočlánky do různých skupin. Nejznámější materiály pro výrobu jsou [27]:

- platinarhodium-platina
- chromel-konstantan
- chromel-alumel
- měď-konstantan

Z principu, na kterém termočlánky pracují, je patrné, že se v zásadě mohou použít i jako zdroj elektrické energie. Z důvodu malé účinnosti se však takto používají jen ojediněle (např: kosmické sondy). Primárně se termočlánky používají ke snímání teplot. I nám velice dobře posloužili při předběžném měření ohřevu vinutí a pláště u stejnosměrného motoru (viz. níže).

Termistory

Jedná se o polovodičové elektrotechnické součástky, které mají svůj elektrický odpor závislý na teplotě. Nevýhodou je jejich nelineární chování, a proto je nutné znát jejich VA charakteristiku. Termistory můžeme rozdělit na 2 typy [17]:

- negistory (NTC) - se zahřátím součástky odpor klesá
- pozistory (PTC) - se zahřátím součástky odpor roste

Termistory jsou v dnešní době používány v mnoha průmyslových aplikacích, avšak většinou jsou součástí nějakého zařízení (např: polovodičové teplotní senzory).

Kapalinové teploměry

Velmi známá zařízení, se kterými se v běžném životě často setkáváme. K měření teploty se využívá teplotní roztažnosti teploměrné kapaliny, kterou může být líh, rtuť apod.

Bimetalové teploměry

Tyto teploměry měří teplotu pomocí tzv. *bimetalového* pásku, který se skládá ze dvou kovů o různých součinitelích teplotní roztažnosti. Vlivem změny teploty se pásek ohýbá a tato deformace se přenáší na ručičku přístroje, který na stupnici zobrazuje aktuální teplotu.

Polovodičové teplotní senzory

Tato zařízení jsou v dnešní době hojně rozšířena. Vyrábí se v mnoha typech, velikostech a modelech. Většinou jsou konstruovány ve formě integrovaných obvodů. Princip jejich činnosti je založen na faktu, že polovodičové diody (které jsou obvykle jejich součástí) mají VA charakteristiku značně závislou na teplotě. Jejich největší využití spadá do oblastí, kde potřebujeme měřit teplotu v rozsahu okolo -25 až 200 °C[13]. Oproti termočládkům je jejich měřicí rozsah podstatně menší. Jsou však poměrně přesné, levnější a hlavně mívají vhodné rozhraní, které je vítané pro použití s dalším elektronickým zařízením. Od začátku zadání této bakalářské práce se předpokládalo, že teplotní sensorika bude realizována právě pomocí těchto zařízení. Polovodičové teplotní senzory můžeme dělit podle mnoha kritérií. Například podle druhu výstupního signálu:

- číslicové
- analogové

nebo podle druhu rozhraní (interface):

- I2C
- RS 232
- SMBus
- a další...

Cena, přesnost, jednoduchost provedení, velikost, rozhraní, rozsah měřících teplot a další faktory se musí brát v potaz, když se rozhodujeme o volbě vhodného senzoru.

Teplotní indikátory

Využívají se pro přibližné určení teploty povrchů těles. Nejsou tedy moc přesné. Při určité *kritické* teplotě dojde ke změně vzhledu indikátoru. Indikátory se vyrábí v různých formách: teploměrné tablety, tužky, nátěry, nálepky apod. [17] Nejznámější jsou tzv. *barevné* teplotní indikátory. Jedná se o nálepky, které mají uprostřed terčík z nátěru obsahujícího teplotně citlivé pigmenty. Při dosažení určité *kritické* teploty dojde k chemické reakci nátěru v jejímž důsledku se změní spektrum odrazivosti nátěru a tím pádem i jeho barva.

3.2. Bezkontaktní teplotní senzory

Tato skupina v sobě zahrnuje mnoho druhů zařízení, ale všechny jsou založeny na jedné optické vlastnosti materiálů zvané *spektrální emisivita*:

Každé těleso, které má povrchovou teplotu vyšší než je absolutní nula (0 K), září.

Bezkontaktní teplotní senzory se tedy řídí *Planckovým zákonem*. Měření teploty těmito přístroji má řadu výhod[19]:

- vysoká přesnost měřících přístrojů
- nedochází k mechanickému opotřebení snímaného objektu
- měřící zařízení neovlivňuje (nebo velice málo) teplotu měřeného objektu
- možnost měřit i velmi vysoké teploty (až 3000°C)
- měření teploty na pohybujících se objektech z bezpečné vzdálenosti s vyloučením rizika poškození měřícího zařízení

Mezi nevýhody pak zejména patří:

- vysoká cena měřících zařízení
- nejistota měření způsobená neznalostí teorie sálání

Mezi nejznámější zařízení pro bezkontaktní měření teploty patří:

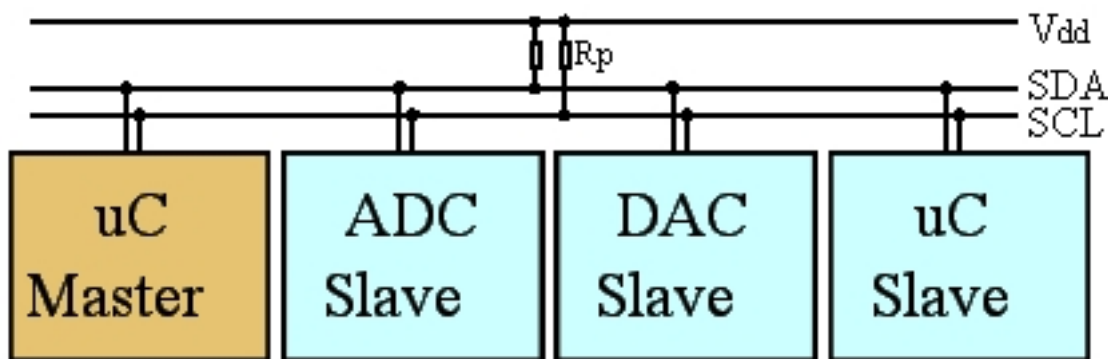
- pyrometry
- infra teploměry (IR snímače)
- termovizní kamery
- přístroje pro noční vidění

S těmito zařízeními jsme během práce nepřišli do styku. Jedná se jistě o velmi pokročilé metody měření, avšak nevyhovující našemu záměru. Proto je zde uvádíme spíše informativně a větší zájem jsme soustředili na zařízení pro kontaktní měření teploty. Pro příklad užití v aplikaci podobné té naší odkazujeme na [5].

3.3. I2C sběrnice

Nyní je na místě zmínit se alespoň ve stručnosti o sběrnici I2C, která byla použita pro komunikaci se všemi periferiemi, které realizovaly doplňkovou senzorku.

Jedná se o seriovou sběrnici, která má pouze 2 linky. Časovou: SCL a datovou: SDA. Linka SCL synchronizuje komunikaci a vysílá pilový signál o předem definované frekvenci. Linka SDA pak slouží k přenosu dat. Pro celkovou konstrukci zapojení není třeba kromě Master a Slave zařízení nic jiného, než dva pull-up rezistory připojující paralelně linky sběrnice ke zdroji:



Obrázek 3.1: Schéma zapojení I2C sběrnice [25]

Adresování je prováděno počátečními byty, které jsou vyslány na sběrnici Master zařízením. Pouze to zařízení, které má odpovídající adresu, pak reaguje na přenos dat. Semozřejmě celá komunikace má ještě další svá specifika pro zajištění bezproblémového chodu. Pro další informace odkazujeme na [2],[25].

Z celého popisu je patrné, že celková sběrnice má konstantní počet linek. Oproti například SPI sběrnici, kde v základním zapojení s každým dalším Slave zařízením přibývá další linka. Protože mnoho vhodných senzorů disponovalo tímto rozhraním, byla I2C sběrnice nakonec zvolena jako nejvhodnější. Dále počet zařízení nebyl zcela zanedbatelný, a proto jsme se chtěli vyhnout velké "robustnosti" sběrnice. Taktéž skutečnost, že I2C porty byly na řídicí jednotce volné, vedla ke konečnému rozhodnutí.

4. Rešerše v oblasti kolizních senzorů

V této kapitole rozebereme druhy kolizních senzorů, o jaká zařízení se vlastně jedná a na jakých principech jsou založena.

4.1. Kolizní senzory jako takové a jejich využití

Předně je vhodné zdůraznit skutečnost, že pokud hovoříme o kolizních senzorech, měli bychom mít na mysli senzory, které jsou založeny na přímém kontaktu dvou těles. Tyto senzory tedy detekují srážku samotnou. Mají celou řadu aplikací. Pokud hovoříme o automobilovém průmyslu, využívají se tato zařízení např: pro detekci narušení deformačních zón a vyslání povelů pro aktivaci airbagů, předpínačů bezpečnostních pásů apod. Dále jejich uplatnění můžeme hledat například u obráběcích strojů, kde po sepnutí senzoru stroj vypne veškeré své posuvy a přeruší pohyb nástrojů (viz. např: [4]).

S těmito senzory jsme během práce nepřišli do styku a ani jsme nepředpokládali jejich aplikaci. Proto se jimi dále nebudeme zabývat.

4.2. Kolizní senzory v našem pojetí

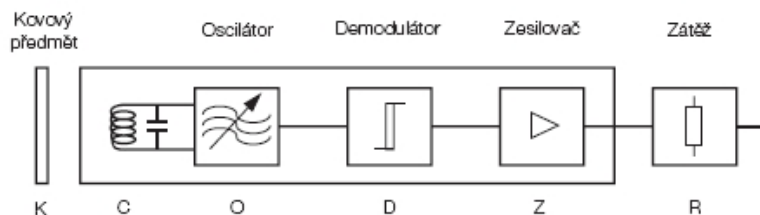
Zde již budeme konkrétnější. Jedním z úkolů této práce bylo navrhnout senzorický systém pro zabránění srážky vozidla s překážkou. Bude se tedy jednat o senzory, které měří bezkontaktně a pomocí nich se fyzickému kontaktu snažíme vyhnout (anglicky: *"Collision Avoidance Sensors"*). Slovo *kolizní* by tedy správně mělo být v uvozovkách.

4.2.1. Druhy senzorů

Nyní ve stručnosti zmíníme některé druhy senzorů vzdálenosti, resp. na jakém principu pracují. Ve většině případů se jedná o zařízení poměrně přesná, proto jsou velice často využívána v průmyslových aplikacích. Tomu ovšem odpovídá jejich cena, která není nikterak zanedbatelná. Tento fakt hrál při volbě vhodného senzoru významnou roli.

Indukční snímače

Tyto senzory jsou založeny na změně impedance cívky, která je součástí senzoru. Za pomoci oscilátoru protéká cívku střídavý proud. To způsobí vznik magnetického pole v okolí cívky. Jestliže do tohoto okolí přiblížíme kovový předmět, jsou v něm indukované vířivé proudy, které zpětně ovlivňují cívku tak, že mění její impedanci. Tato změna je pak zpracovávána elektronikou senzoru, zesílena a převedena na výstupní signál[10].



Obrázek 4.1: Princip činnosti indukčního snímače [10]

Kapacitní snímače

Jsou založeny na principu změny kapacity kondenzátoru, který je součástí senzoru. Tato změna se vyvolá přiblížením předmětu. Je tedy patrné, že jistou výhodou těchto senzorů je možnost měřit i "nemagnetické" materiály, což například indukční snímače nedokáží. Další výhodou, kterou tyto senzory skýtají, je možnost "vidět i skrz" kovové materiály[1].

IR snímače

Pracují na principu snímání odraženého záření od detekovaného předmětu. Snímač má tedy svůj zdroj a zároveň detektor IR záření. Po každém odeslání světla je testován rozkmit vstupního signálu[7]. Čím větší je tedy rozkmit na vstupu, tím blíže se nachází detekovaný předmět.

Ultrazvukové senzory

Již z názvu vyplývá, že tato zařízení pracují na principu vysílání a přijímání ultrazvukové vlny. Jedná se tedy o jistou analogii k IR snímačům, jen světlo je v tomto případě nahrazeno zvukem.

4.3. Aplikace kolizních senzorů v praxi

Následují příklady kolizních senzorů v praxi.

4.3.1. Volvo City Safety system

Jedná se o velmi pokročilý systém zabránění srážky vozidla s pevnou nebo pohybující se překážkou. Tento systém by měl zabránit jakékoliv srážce, pokud se automobil pohybuje rychlostí do 30 km/h a oproti překážce se pohybuje relativní rychlostí do 16 km/h. Pokud se vůči překážce pohybuje relativně od 16 do 30 km/h, systém alespoň zmírní srážku. Vzhledem k tomu, že statisticky přibližně 75 % srážek vozidel se děje v rychlostech do 30 km/h, jedná se vskutku o velmi užitečný systém, který nepozorným řidičům ušetří v konečném důsledku dost peněz. Pro další informace odkazujeme na [22].



Obrázek 4.2: Volvo City Safety System[22]

4.3. APLIKACE KOLIZNÍCH SENZORŮ V PRAXI

4.3.2. Parkovací senzory

Toto je snad nejznámější aplikace kolizních senzorů, se kterou se můžeme v běžném životě setkat. Jedná se o sadu ultrazvukových senzorů vzdálenosti, v dnešní době obvykle se zvukovým a grafickým výstupem, umístěných vzadu (a někdy i na přední části vozidla), který řidiči názorně ukazuje vzdálenost jednotlivých částí karoserie od překážek.

4.3.3. Automatické systémy parkování

V dnešní době asi nejsofistikovanější metoda v oblasti užití kolizních senzorů v automobilovém průmyslu. Jedná se o soustavu senzorů, kamer a řídicí jednotky, která dokáže sama vyhodnotit a provést úspěšné zaparkování vozidla do řidičem zvoleného prostoru bez kolize. Ačkoliv jsou tyto systémy již na trhu k dostání, stále jsou ve fázi vývoje. Jako příklad můžeme uvést Park Assist Vision [16] od firmy Volkswagen.



Obrázek 4.3: Park Assist Vision System[16]

5. Návrh a realizace teplotní senzorky

V této kapitole se budeme zabývat celkovou tvorbou teplotní senzorky. Od teoretických úvah o provedení předběžného měření teplot vinutí a pláště pro zjištění parametrů elektromotoru, až po naši volbu senzorů, typ komunikace s řídicí jednotkou a finální realizaci senzorického systému.

5.1. Předběžné měření teplot vinutí a pláště

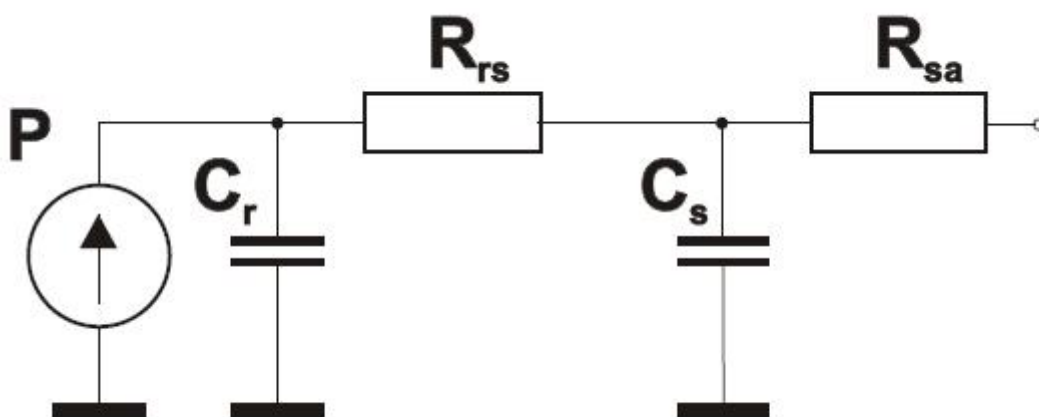
5.1.1. Motivace pro provedení experimentu

Cílem tohoto měření byl odhad teploty vinutí z teploty pláště stejnosměrného motoru PD4266 od firmy Transmotec [12], který je použit jako pohon pro všechna čtyři kola na vozidle. Důvodem celého snažení je následující problém: Pokud chceme měřit obecně teplotu motoru za provozu, je zřejmé, že nás bude nejvíce zajímat teplota nejvyšší, která je právě na vinutí a která má značný vliv na výkon motoru a v případě přetěžování motoru je i varovným ukazatelem pro včasné ukončení přetížení. Za běžného užívání motoru však můžeme jen stěží používat klasický teplotní senzor upevněný na rotoru. Ten bude měřit na plášti. Proto se provede předběžné měření teplot vinutí a pláště. Ze zjištěných hodnot a sestaveného matematického modelu (viz. níže) se odhadnou konstanty, které v modelu figurují. Pak bychom měli být schopni z naměřené teploty pláště (a několika dalších známých hodnot) odhadnout teplotu vinutí. Teoretický základ je čerpán z: [5], [23], [24].

5.1.2. Teoretické předpoklady a popis měření

Stavový popis modelu

Zjednodušený model pro měření teplot lze pomocí elektrické analogie znázornit způsobem, který je patrný z obrázku:



Obrázek 5.1: Elektrická analogie systému pro přenos tepla [5]

5.1. PŘEDBĚŽNÉ MĚŘENÍ TEPLIT VINUTÍ A PLÁŠTĚ

Pro takovéto schéma můžeme psát následující 2 diferenciální rovnice:

$$P dt = C_r dt_r + \frac{1}{R_{rs}}(t_r - t_s) dt \quad (5.1)$$

$$\frac{1}{R_{rs}}(t_r - t_s) dt = C_s dt_s + \frac{1}{R_{sa}}(t_s - t_a) dt \quad (5.2)$$

kde

- P je ztrátový výkon
- C_r je tepelná kapacita vinutí
- C_s je tepelná kapacita pláště
- R_{rs} je tepelný odpor mezi vinutím a pláštěm
- R_{sa} je tepelný odpor mezi pláštěm a okolím
- t_r je teplota vinutí
- t_s je teplota pláště
- t_a je teplota okolí

Při odporu R_{rs} je uvažován pouze přenos tepla vedením a je tím pádem konstantní. U odporu R_{sa} je problém poněkud složitější. Zde by měl být brán v potaz přenos tepla radiací a přirozenou konvekcí. Měli bychom se tedy řídit Steffan-Boltzmannovým zákonem, který by však zavedl do modelu nelinearity. Po konzultaci s doktorem Vlachem jsme se rozhodli, že budeme hodnotu považovat za konstantní. Jde sice o jisté zjednodušení, ale jak se ukázalo později, stavový popis vcelku věrně simuloval reálnou situaci.

Dále ještě uvedme, že ztrátový výkon P se vypočítává během simulace podle empirického vzorce. Po těchto úvahách napíšeme další 2 rovnice:

$$P = R_w I^2 \quad (5.3)$$

$$R_w = R_w^{25} (1 + \alpha_{cu}(t_r - 25)) \quad (5.4)$$

kde

- R_w je elektrický odpor vinutí
- R_w^{25} je elektrický odpor vinutí při 25 °C
- α_{cu} je koeficient tepelného odporu mědi (= 0,00392 1/K)

Nyní již máme všechny potřebné rovnice pro sestavení stavového popisu. V modelu uvažujeme 2 stavy a 2 výstupy: teploty t_r a t_s . Vstupy jsou taktéž 2: ztrátový výkon P a teplota okolí t_a . Po krátké úpravě dostaneme matice stavového popisu:

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{1}{R_{rs}C_r} & \frac{1}{R_{rs}C_r} \\ \frac{1}{R_{rs}C_s} & -\frac{1}{R_{rs}C_s} - \frac{1}{R_{sa}C_s} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} \frac{1}{C_r} & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_{sa}C_s} \end{pmatrix} \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Způsob měření

Jak již bylo uvedeno výše, předběžné měření bylo provedeno termočlánky na vinutí a plášti. Motor byl tedy zajištěn proti otáčení a zatížen konstantním proudem. Termočlánky snímaly teploty, dokud nedosáhly tzv. "ustálených" hodnot ($t \rightarrow \infty$). Z naměřených hodnot se pak určily potřebné konstanty.

Určení konstant

Po měření průběhu teplot bylo nutno určit hodnoty R_{rs} , R_{sa} , C_r a C_s . Odpor R_{rs} , R_{sa} lze určit z ustáleného stavu motoru. Jsou to tedy hodnoty, které ovlivňují pouze maximální teploty, kterých může vinutí nebo plášť dosáhnout. Po provedení měření jsme do modelu dosadili určité startovací hodnoty a spustili simulaci. Podle výsledku byly určeny hodnoty nové a po pár krocích jsme se dostali k dostatečně přesným hodnotám. Kapacity C_r , C_s jsou oproti tomu závislé na průběhu ohřevu. Jinými slovy tyto hodnoty nám právě určují, jakou rychlostí se bude plášť nebo vinutí ohřívat. Pro zjištění správných hodnot použijeme stejný způsob jako u odporů. Popřípadě si můžeme pomoci empirickým vzorcem, který však není v tomto případě zcela přesný:

$$\tau_i = R_i C_i \quad (5.5)$$

kde

τ_i je časová konstanta ohřevu (doba, za kterou dosáhneme 63,2 % ustálené teploty)

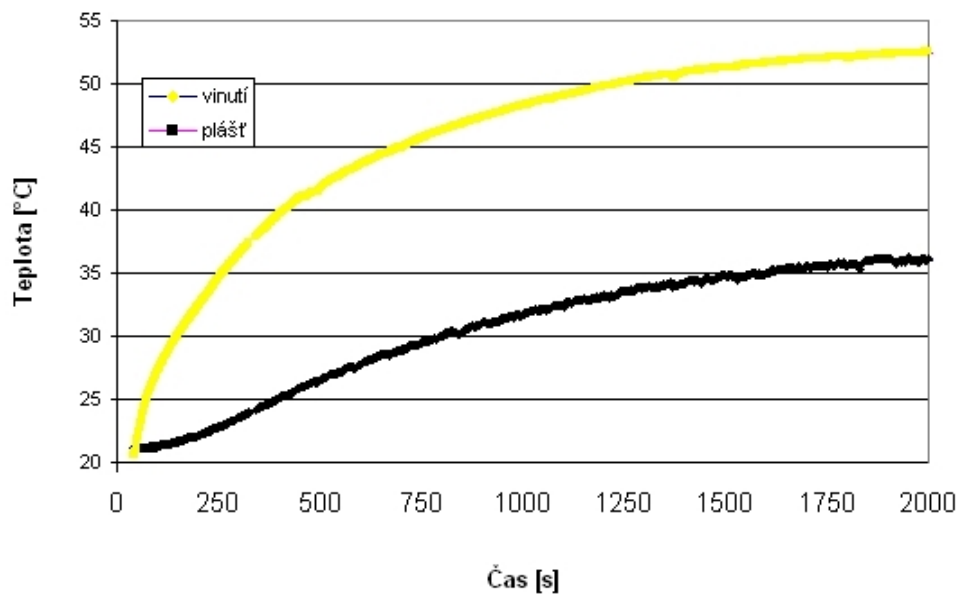
Tento způsob určování konstant není zcela odborný. Pro naše nároky na přesnost však zcela postačí.

5.1.3. Zhodnocení výsledků

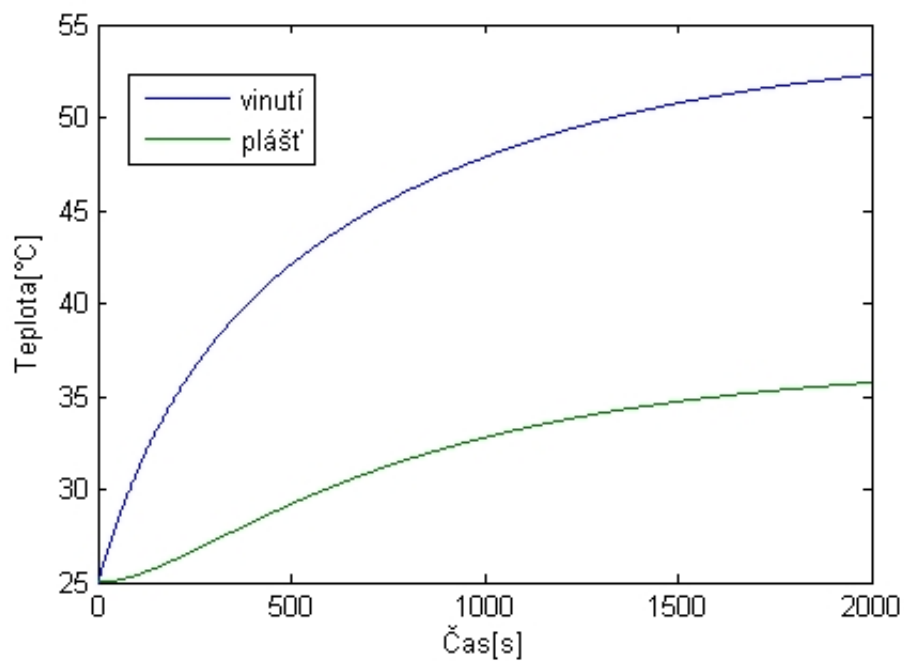
Následuje tabulka s hodnotami podmínek měření a zjištěnými hodnotami konstant a grafy reálného měření a simulace modelu.

Parametr	symbol	hodnota	jednotky
Zátěžný proud	I	1,4	A
Teplota okolí	t_a	25	$^{\circ}C$
Elektrický odpor vinutí při 25 $^{\circ}C$	R_w^{25}	1,6	Ω
Tepelná kapacita pláště	C_s	150,2	(J/K)
Tepelná kapacita vinutí	C_r	43,3	(J/K)
Tepelný odpor mezi vinutím a pláštěm	R_{rs}	4,9	(K/W)
Tepelný odpor mezi pláštěm a okolím	R_{sa}	3,4	(K/W)

5.1. PŘEDBĚŽNÉ MĚŘENÍ TEPLOT VINUTÍ A PLÁŠTĚ



Obrázek 5.2: Skutečný průběh naměřených teplot vinutí a pláště



Obrázek 5.3: Teoretický průběh vypočtený ze simulace ohřevu vinutí a pláště

Na závěr poznamenejme, že celé měření dokázalo, že v běžném provozu se teploty motoru nebudou často dostávat do kritických hodnot. Jednak pohyb rotoru a samotný pohyb vozidla způsobí značné proudění vzduchu, což bude mít za následek ochlazování vinutí a jednak elektrický proud, který bude zatěžovat motor nebude také natolik velký, aby přehřál vinutí. V rámci práce na vozidle byla nastavena pouze určitá kritická hodnota teploty pláště, přes kterou se nesmíme dostat, jinak se motor z důvodu bezpečnosti vypne. Z naměřených hodnot je tedy patrné, že teplotní senzory na motorech nejsou nezbytně nutné. Avšak skutečnost, že motory jsou úmyslně přetěžovány pro dosažení vyššího výkonu, je dostatečně silným důvodem proč teploty na motorech kontrolovat.

Celé měření je poměrně velkou motivací k aktuálním problémům řízení s uvážením přenosu tepla. Ať už na optimální výkon nebo spotřebu.

5.2. Návrh a výroba senzoriky

5.2.1. Naše volba senzoru

Z přibližných znalostí toho, jak se motor chová, jsme začali uvažovat o volbě vhodného senzoru. Podle naměřených teplot se nám samozřejmě nabízela celá škála zařízení. Kladli jsme tedy následující podmínky:

- digitální výstup (při analogovém výstupu bychom museli počítat s šumem, který je nežádoucí)
- standartizované rozhraní, kterým disponuje řídicí jednotka
- malá velikost součástky
- vhodné napájecí napětí (3,3 nebo 5 V)

Nakonec jsme vybrali jako vhodný senzor zařízení TMP275 od firmy Texas Instruments.

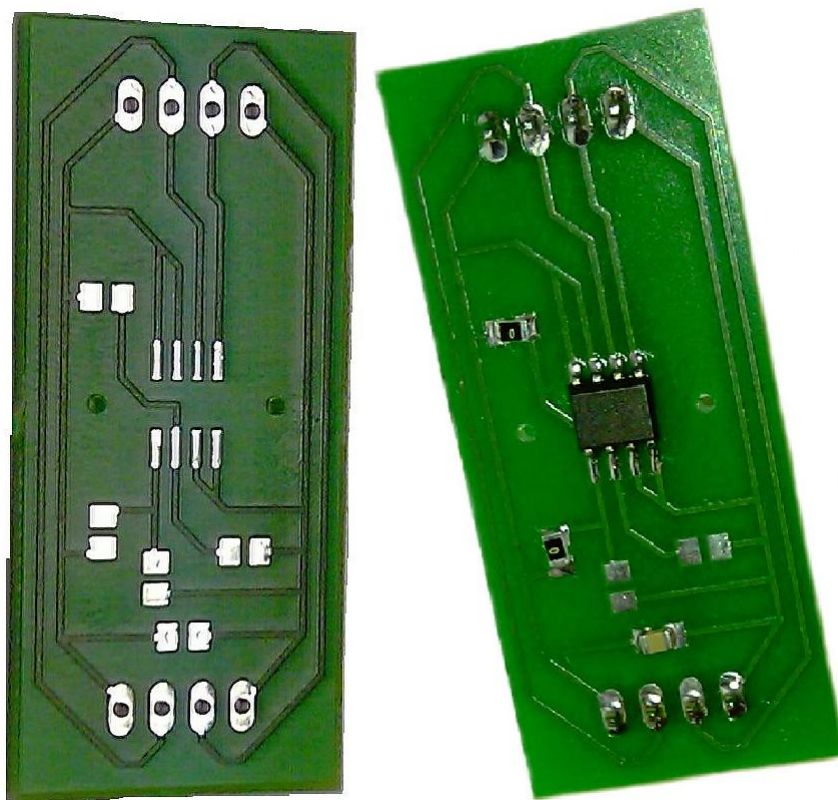


Obrázek 5.4: Teplotní senzor TMP275 [15]

5.2. NÁVRH A VÝROBA SENZORIKY

Jedinou jeho nevýhodou, se kterou jsme od začátku museli počítat, byl fakt, že se jedná o SMD součástku. Museli jsme tedy navrhnout zvláštní destičku pro senzor. Návrh desky je uveden v příloze. Veškeré parametry jsou dostupné z datasheetu [15]. Uvedme zde jen některé vlastnosti:

- I2C rozhraní
- rozsah měřících teplot: od -20°C do $+100^{\circ}\text{C}$
- velký rozsah napájecího napětí: 2,7 - 5,5 V



Obrázek 5.5: Vyrobená a osazená deska teplotního senzoru

5.2.2. Aplikace I2C sběrnice a vytvoření funkčního kódu pro komunikaci

Nyní se dostáváme k problematice komunikace senzorů s řídicí jednotkou. Tato úloha se na začátku zadání této práce nejevila jako nikterak složitá. Nakonec se ale ukázala jako ne zcela jednoduchá a časově velmi náročná. Jak již bylo uvedeno výše, pro komunikaci senzoru s mikrokontrolerem jsme zvolili sběrnici I2C.

Problémy s automatickým generováním kódu

Pro veškeré programování řídicích jednotek na experimentálním vozidle se používala knihovna *Embedded Target for dsPIC* [9] jako nástavba do programu *Simulink*. Model pro řízení byl sestaven v *Simulinku* za pomoci této knihovny a následně přeložen do .hex souboru, který mohl být nahrán do procesoru na vozidle, a to za pomoci softwaru *MPLAB IDE*, vyvinutým firmou *Microchip*, tedy tou samou, která vyvíjí procesory dsPIC. Celkově se jedná o velmi elegantní řešení, které velice urychluje a zjednodušuje práci. Tento postup totiž obchází pracné psaní zdrojového kódu v jazyce C, stejně tak jako ladění hotového programu. Očekávali jsme jednoduché vytvoření modelu, neboť bloček pro I2C sběrnici je v knihovně integrován. Zde jsme však narazili na problém. Po prvním sestavení modelu, přeložení a nahrání ho do procesoru jsme zjistili, že sběrnice se nechová podle očekávání. Proto jsme připojili na obě linky sběrnice osciloskop a zkoumali, kde může být chyba. Následovaly dlouhé týdny strávené nad identifikací problému, o kterých je zbytečné se zde rozepisovat. Uvedme jen naši hypotézu, proč bloček z knihovny nefungoval.

Ačkoliv Lubin Kerhuel, který knihovnu vyvíjí, někdy funkčně aplikoval I2C sběrnici pro komunikaci s dsPIC procesorem, bylo tomu pravděpodobně na jiném zařízení. Celá jeho knihovna je vyvíjena pro kompletní škálu procesorů, které se mezi sebou méně nebo více liší. Tento fakt se většinou obchází voláním příslušného .h souboru konkrétního procesoru. To však vždy nestačí.

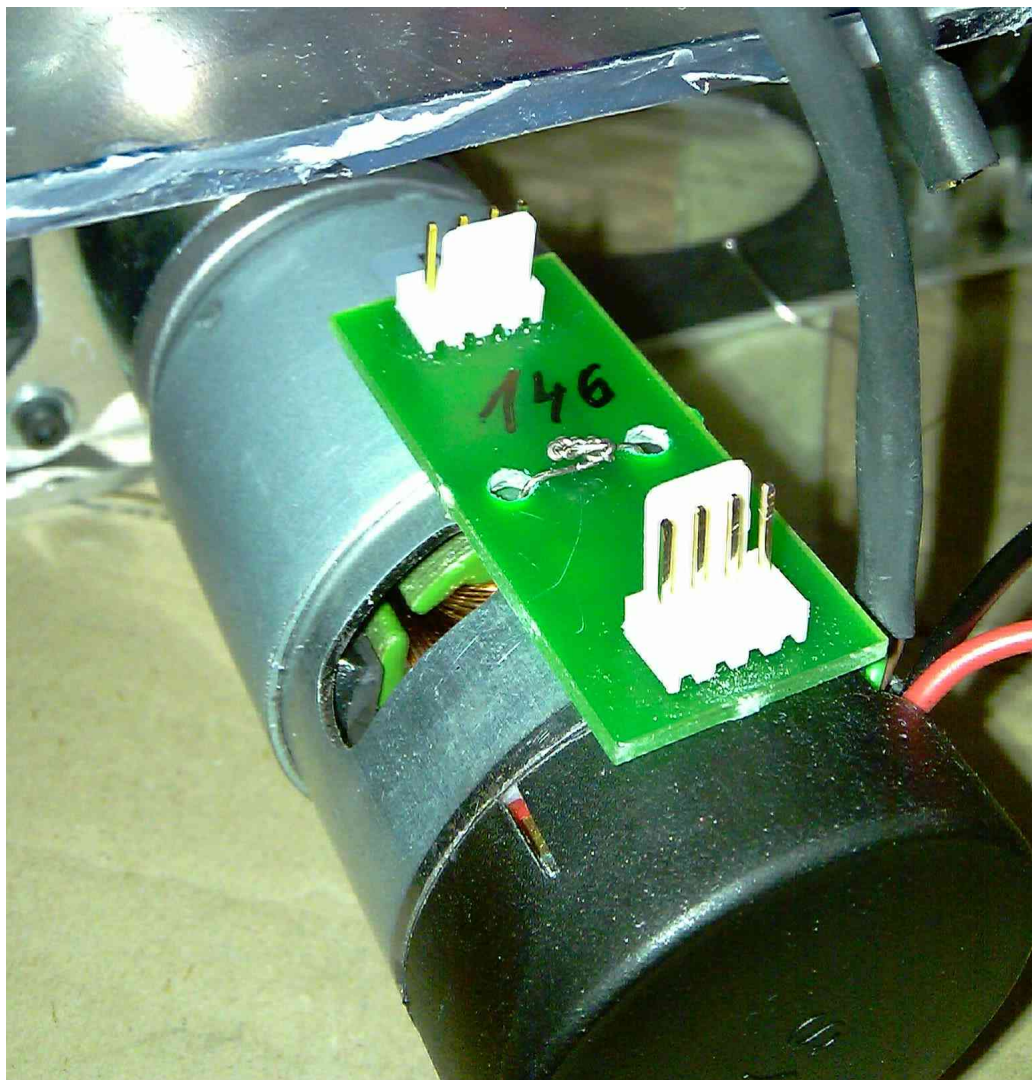
Náš způsob vyřešení problému

Celkový problém jsme nakonec postupně odstranili. Nebudeme zde teď podrobně rozepisovat celé naše snažení. Uvedme jen náš konečný výsledek. Knihovnu *Embedded Target for dsPIC* jsme nakonec přeci jen využili, a to skrz bloček *C Function Call*. Tento bloček volá již napsanou funkci v C jazyce. Naprogramovali jsme si tedy několik základních funkcí pro komunikaci a jejich variacemi jsme docílili úspěšné komunikace s jednotlivými periferiemi.

Celý zdrojový kód je uveden v příloze, stejně tak jako několik rad pro další uživatele sběrnice. Braní těchto rad v potaz by jim mělo ušetřit mnoho času a pomoci vyhnout se častým chybám při vytváření funkčního modelu pro komunikaci.

5.2.3. Realizace senzoriky

V konečném výsledku byly vyrobeny čtyři destičky s teplotními senzory a uchyceny na plášť motoru, jak je patrné z obrázku níže. Teplotní senzorika tvořila jeden celek komunikující po I2C sběrnici, která byla připojena na Slave jednotku řídicí elektroniky. Takto zasáhnout do systému řízení bylo možné. Připojením senzorů v podstatě nebyl snížen výpočetní výkon řídicí jednotky, neboť snímání teploty postačilo provádět s frekvencí 1 Hz.



Obrázek 5.6: Uchycení teplotního senzoru na plášť motoru

5.3. Zhodnocení výsledků

Během práce na realizaci této části sensoriky bylo dosaženo jednoho z nejvýznamějších výsledků, a to komunikace I2C sběrnice s řídicí jednotkou. S ohledem na pozdější využití se vytvoření funkčního kódu pro komunikaci jeví jako podstatně důležitější než samotná realizace teplotní sensoriky.

Ta byla však s úspěchem splněna taktéž. Nemá příliš velký smysl uvádět zde jako příklad průběh teploty pláště jednoho motoru vozidla za jízdy, neboť při běžném provozu má plášť motoru v podstatě teplotu okolí. Teplotní sensorika je na autě z bezpečnostních důvodů. Pokud by se například jeden z motorů nějak zablokoval a nemohl se otáčet, začnou jeho vinutím protékat při napájecím napětí 30 V (což bylo během ježdění s vozidlem běžné) vysoké proudy, které motor poměrně rychle ohřejí. Tento stav však není žádoucí, a proto nebyl ani záměrně vyvoláván pouze pro potřebu demonstrativního měření.

6. Návrh a realizace senzoriky pro měření polohy tlumičů

V této kapitole se budeme zabývat senzorikou pro měření polohy tlumičů. Uvedeme možná řešení, o kterých jsme uvažovali, naši volbu a budou zhodnoceny dosažené výsledky.

6.1. Možnosti měření

Celé realizaci předcházelo dlouhé promýšlení a diskutování s ostatními kolegy ohledně různých možnostech provedení senzoriky pro měření polohy tlumičů. Nabízela se celá škála možných řešení, přičemž většina z nich nakonec byla vyřazena, protože nesplňovaly některé požadavky. Velký důraz byl kladen především na to, aby konstrukce něco vydržela, neboť tento systém se vyráběl s výhledem pro pozdější zanesení rozložení sil na jednotlivá kola do modelu řízení. S tím se sice počítalo již v době této práce, avšak síly byly počítány pouze teoreticky.

Nyní uvedeme některá možná řešení, která nakonec byla vyloučena.

měření potenciometrem

Tento návrh se nabízel jako úplně první. Tahový nebo rotační potenciometr by se připevnil pomocí táhel k tlumiči tak, aby se jezdec posouval spolu s pohybem tlumiče. Před provozem by se naměřila charakteristika potenciometru, která by se proložila polynomem. Tento návrh jsme vyloučili až v samotném závěru, neboť konstrukce se jevila jako příliš robustní.

měření reflexním optočlenem

Jednalo by se o bezkontaktní měření např: součástkou CNY70 od firmy Vishay [21]. Tato součástka není pouze optickou závorou, ale má svůj specifický průběh napětí v závislosti na tom, jak moc je překrytá. Jako příklad jejího využití odkazujeme na [3].

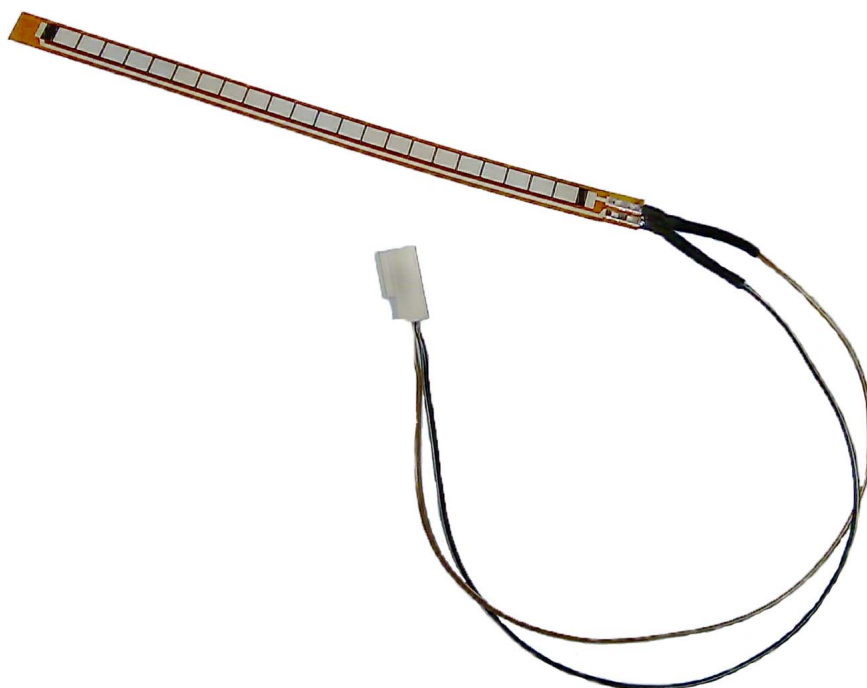
měření Halloovým senzorem

Tuto možnost navrhnul vedoucí práce úplně v závěru úvah o volbě vhodného zařízení, kdy už jsem byli v podstatě rozhodnutí. Senzor by byl upevněn tak, aby se vůči nějakému magnetu relativně pohyboval a tím by reagoval na změnu magnetického pole. Tento nápad nebyl od věci, avšak hrozilo riziko, že celé měření budou ovlivňovat elektromotory, které byly v těsné blízkosti.

6.2. Návrh a výroba senzoriky

6.2.1. Naše volba

Konečnou volbou bylo nakonec řešení pomocí ohybového senzoru. Toto zařízení mění svůj elektrický odpor v závislosti na tom, jak moc je ohnuté. Celkové řešení je tedy analogií k měření potenciometrem, v tomto případě však s elegantnější a velmi jednoduchou konstrukcí.



Obrázek 6.1: Ohybový senzor

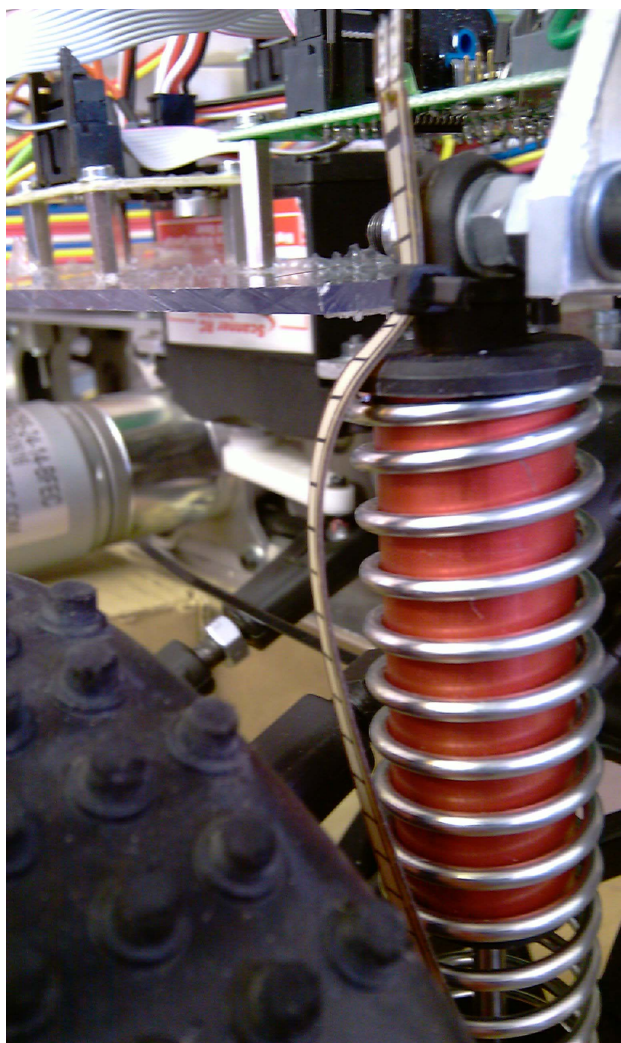
6.2.2. Uspořádání senzoriky

Napětí měnící se na ohýbaném senzoru bylo zpracováno AD převodníkem na digitální signál a pomocí I2C sběrnice posíláno do řídicí jednotky. O AD převodníku bude podrobněji pojednáno v následující kapitole, neboť sloužil jak pro měření polohy tlumičů, tak pro zpracování signálu z kolizních senzorů.

Do obvodu bylo samozřejmě nutné zapojit do serie další rezistor, aby se napětí na senzoru měnilo. Určení optimální hodnoty elektrického odporu přídavného rezistoru je jednoduchá úloha o hledání extrému funkce jedné proměnné.

6.2.3. Upevnění senzorů

Senzor byl upevněn přímo na tlumič a měnil tedy svůj elektrický odpor v závislosti na stlačení tlumiče. Původní myšlenka připevnění tlumiče bylo uchycení na kostru a rameno tlumiče. V tomto případě se však senzor příliš neohýbal, a proto data zjištěná tímto měřením nebyla nijak hodnotná.



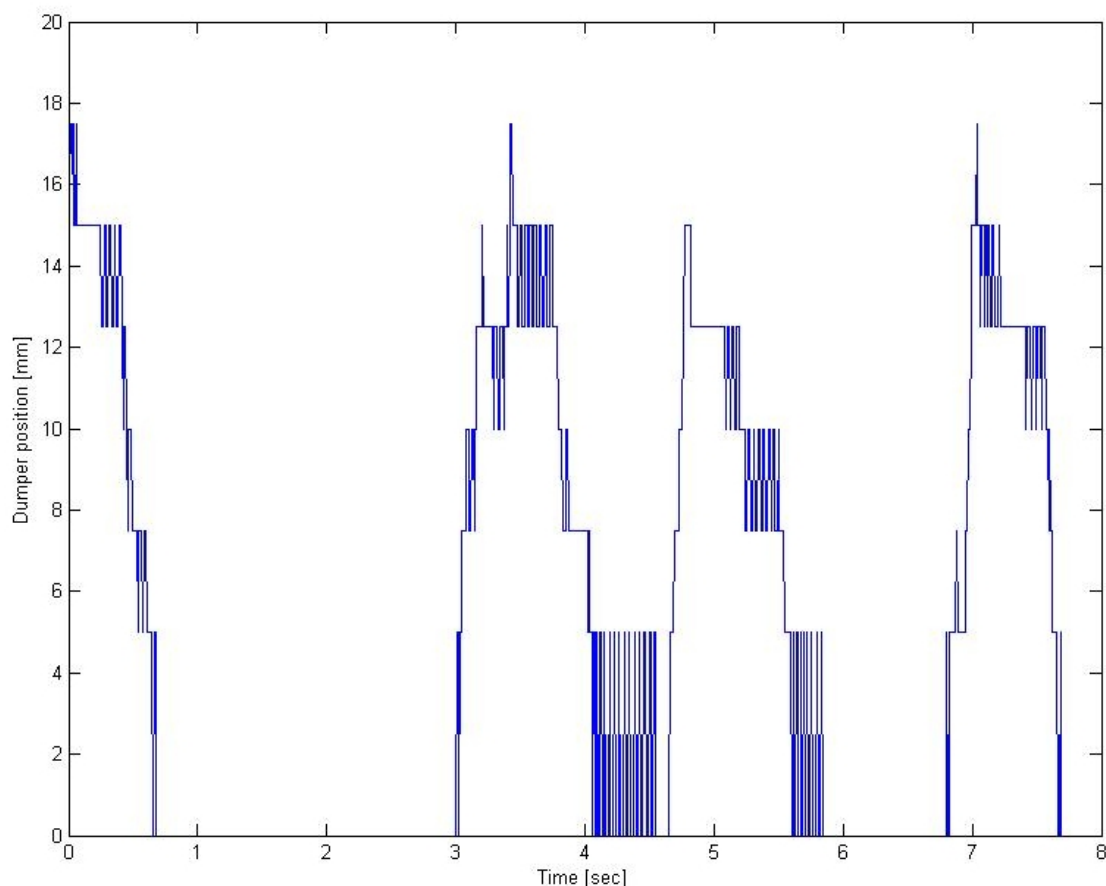
Obrázek 6.2: Připevnění ohybového senzoru k tlumiči

6.3. Měření a vyhodnocování výsledků

Každý senzor bohužel vykazoval jinou závislost elektrického odporu na ohnutí. Proto bylo nutné proměřit pro každý kus vlastní charakteristiku. Touto realizací senzoriky je tedy vyloučena jakákoliv zaměnitelnost.

Po proměření všech charakteristik jsme použili bloček *Lookup Table* pro převod napětí na velikost stlačení tlumiče. Napětí bylo měřeno po 2,5 mm stlačení. Uvedme příklad jednoho skutečného průběhu polohy tlumiče.

6.3. MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ



Obrázek 6.3: Průběh stlačení tlumiče při jeho proměnném zatěžování

Ačkoliv se na první pohled z hlediska konstrukce uložení senzoru může zdát, že naměřená data budou při každém měření jiná, nebylo tomu tak a senzory se "chovaly" stále stejně. Hlavním důvodem této skutečnosti je malé měřicí rozlišení (2,5 mm) ohybových senzorů.

Jak je však z grafu výše vidět, není signál ze senzoru bohužel příliš kvalitní. Nabízí se tedy ještě určitá úprava konstrukce, nebo změna rozlišení AD převodníku, což není věc úplně prostá, neboť deska převodníku byla navržena tak, že nelze změnit velikost napájecího napětí senzoru, která je hlavním faktorem při určení možného rozlišení převodníku.

7. Návrh a tvorba systému kolizních senzorů

V této kapitole se budeme zabývat kolizní sensorikou, a to od úvah o její funkci a provedení až po její realizaci a zhodnocení dosažených výsledků.

7.1. Idea o funkci senzorů a její nadřazenosti hlavnímu algoritmu řídicí jednotky

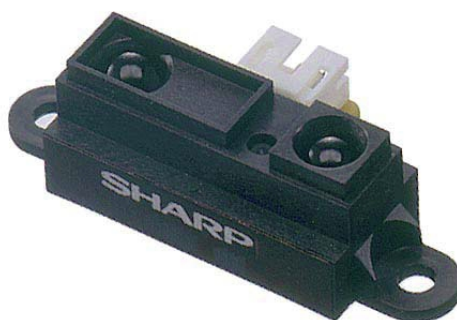
Celkovou myšlenkou kolizní sensoriky bylo vytvořit funkční systém pro zabránění kolize s překážkou, která se vůči vozidlu relativně pohybuje. Inspiraci lze tedy hledat např. u Volvo City Safety System uvedeného výše. To je ovšem o několik řádů sofistikovanější systém. Naše implementace byla omezená potenciálem levných senzorů.

Co se týče nadřazenosti hlavnímu algoritmu řídicí jednotky, musíme uvažovat trochu odlišně od systémů v automobilovém průmyslu. Na vozidle totiž nejsou fyzicky přítomny brzdy. Brzdění vozidla se realizuje regulací PWM jednotlivých motorů. V klasickém osobním automobilu systém ovládá brzdy. V našem případě však musíme doslova *”převzít”* uživateli ovládání vozidla.

7.2. Realizace sensoriky

7.2.1. Naše volba senzoru

V případě této části sensoriky jsme nepoužívali žádná dosud neznámá zařízení, ale vybrali jsme IR snímač polohy od firmy Sharp, který se již v laboratoři používal.



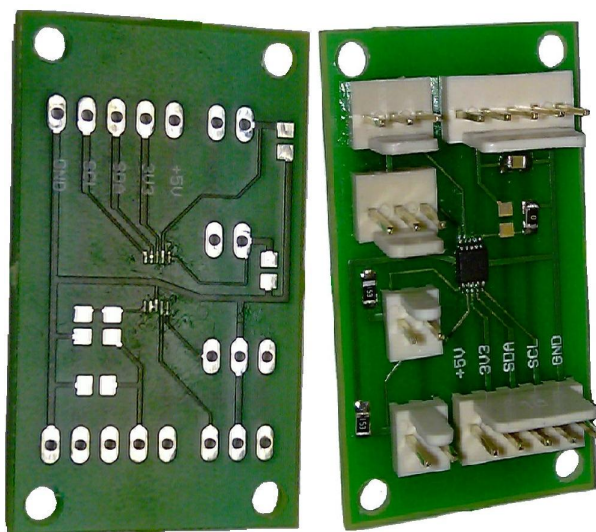
Obrázek 7.1: IR senzor polohy: Sharp GP2Y0A21YK0F [11]

7.2. REALIZACE SENZORIKY

Dále jsme vybrali vhodný AD převodník. Dobře nám posloužilo zařízení ADS1015 od firmy Texas Instruments [14]. Uvedme jen některé základní vlastnosti, které nám vyhovovaly:

- I2C rozhraní
- 4 vstupní kanály
- vhodný rozsah napájecího napětí (2.0 - 5.5 V)

Pro převodník byla navržena deska, přičemž jsme nachystali vstupy i pro senzory polohy tlumičů. Nakonec tedy na vozidlo byly umístěny 2 desky (na každé 2 kolizní senzory a 2 senzory polohy tlumičů)



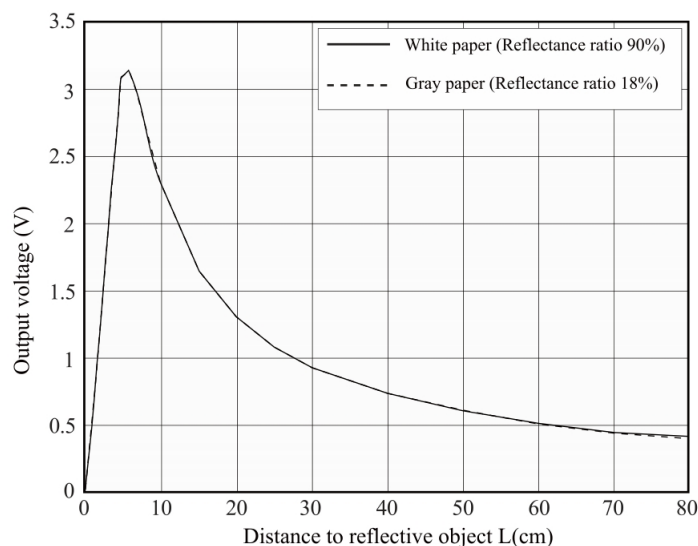
Obrázek 7.2: Vyrobená a osazená deska AD převodníku

7.2.2. Problémy se značným šumem výstupního signálu

Ačkoliv výše uvedený senzor dává spojitý signál na svém výstupu, měří vzdálenost periodicky s frekvencí přibližně 25 Hz. Tím do obvodu zanáší značný šum. Když byl na převodník připojen pouze jeden senzor, výstupní naměřený signál měl velmi "pěkný" průběh. Dva senzory se však navzájem značně ovlivňovaly. Proto bylo velmi problematické naměřená data nějakým způsobem dále zpracovávat a využívat.

Největší nepřesnost se na senzorech projevila, když před sebou neměl žádnou překážku. V takovém případě se na výstupu sice objevily nízké hodnoty napětí, ale s tak silným šumem, že nebylo výjimkou, když některá hodnota z AD převodníku odpovídala i vzdálenosti okolo 10 cm.

Pokud již senzor nějakou překážku před sebou měl, šum se z části uklidnil, avšak ne úplně. Problém je v tom, že bylo nutno detekovat právě okamžik, kdy se před senzorem nějaká překážka nachází, aby systém mohl včas vyslat povel pro zastavení (resp. pro opačný záběr motoru). Ale tento stav v podstatě splývá se stavem, kdy senzor žádnou překážku neměří.

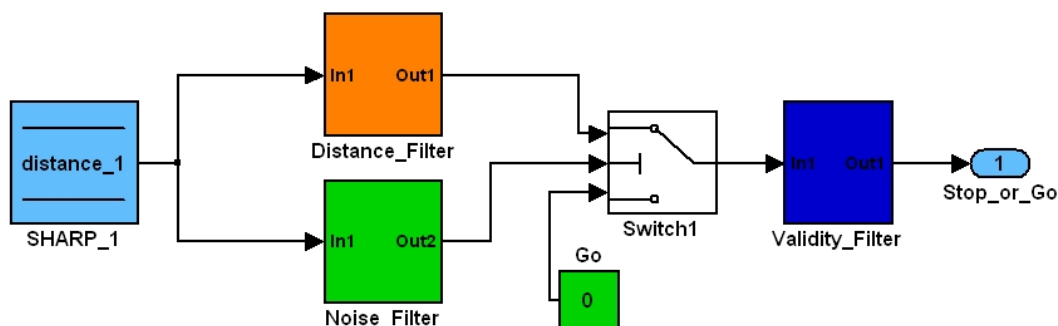


Obrázek 7.3: Závislosti výstupního napětí na vzdálenosti detekované překážky [11]

7.2.3. Filtrování signálu

Pro tento problém byl navržen postupný filtr. V první části se signál kontroluje na "extrémní šum", který znamená, že před autem nic není a může pokračovat v jízdě. Pokud není tento stav detekován, pokračuje algoritmus v další filtraci, tentokrát již v oblasti malého šumu, a pokud naměříme několikrát za sebou hodnotu větší, než je hodnota předdefinovaná, znamená to detekci překážky a povel pro zastavení vozidla. Stejně tak ještě následuje ověření, zda před senzorem skutečně nic není. Jiným slovy, jeden povel pro možnost pokračování ve směru jízdy není validní a těchto příkazů musí následovat několik po sobě.

Po delším ladění jednotlivých konstant ve filtru bylo dosaženo poměrně slušného výsledku, kdy senzory detekovaly objekt přibližně ve vzdálenosti 55 cm. Interval, při kterém byl senzor nejistý ve vyhodnocování přítomnosti překážky, pak nebyl ani 5 cm.



Obrázek 7.4: Schéma postupného filtrování signálu

7.2.4. Aplikace senzoriky na model řízení

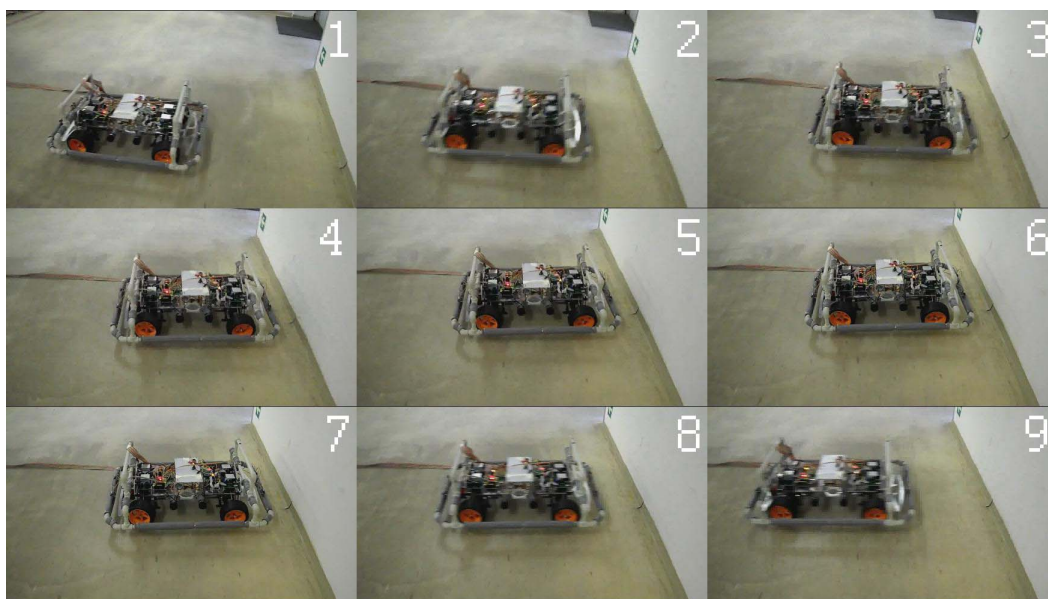
Po úspěšné filtraci signálu ze senzorů byl systém implementován do modelu řízení. Byl navržen jednoduchý algoritmus, který při detekci překážek na krátký okamžik změnil polaritu PWM jednotlivých motorů a následně motory vypne. To se ukázalo jako velmi účinné zejména při vyšších rychlostech vozidla, neboť v takovém případě pouhé vypnutí motorů nestačí a vozidlo se ještě v poměrně značné rychlosti střetne s překážkou z důvodu své setrvačnosti. Na vozidlo byly umístěny dohromady 4 senzory - 2 dopředu a 2 dozadu.

Dále byl model systému kolizních senzorů upraven tak, aby zjišťoval aktuální směr pohybu vozidla a podle toho používal k vyhodnocování překážek pouze jednu dvojici senzorů.

7.3. Testovací jízdy

Po úspěšném návrhu, filtrování signálu a implementaci do modelu řízení byly provedeny testovací jízdy, a to s poměrně značným úspěchem. Při malých rychlostech vozidla bylo dosaženo úplného zastavení, při větších pak senzory zmírnili srážku na minimum.

Níže je uveden sled snímků z videa. Do snímku 3 vozidlo jede vůči zdi. Do snímku 7 pak stojí. Po celou tuto dobu uživatel vysílá požadavek pro jízdu vpřed. Poslední dva snímky pak uživatel vydal povel pro jízdu dozadu.



Obrázek 7.5: Sekvence snímků z videa nájezdu vozidla proti zdi

Z výše uvedeného je tedy patrné, že alespoň základní myšlenka navržení systému pro zabránění srážky vozidla s překážkou byla s úspěchem na vozidlo implementována. V příloze je uvedeno delší sestříhané video z testovacích jízd.

8. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a zrealizovat doplňkový senzorický systém pro experimentální čtyřkolové vozidlo. Od teoretických úvah se postupně přešlo k samotné realizaci jednotlivých bodů zadání. Pokud by se měly zhodnotit dosažené výsledky, je třeba dívat se na každou část sensoriky samostatně.

V rámci práce na teplotních senzorech byly při předběžném měření prakticky ověřeny základní poznatky z termomechaniky. Následovala časově nejnáročnější část celé práce, a to byla snaha o funkční komunikaci pomocí I2C sběrnice, která se nakonec neukázala zbytečnou. Stejně tak první část senzorického systému posloužila pro seznámení se s návrhovým systémem *Eagle* pro tvorbu schémat DPS, následné ruční výroby fotocestou i pro první nesmělé kroky ve snaze naučit se základům pájení. Po překonání všech nesnází byla teplotní sensorika kompletně a funkčně implementována na vozidlo.

Ze senzorů polohy tlumičů se podařilo získávat reálná data, avšak o jejich kvalitě lze diskutovat. Největší problém hledejme ve špatném úsudku volby druhu senzorů, které se příliš neosvědčily. Pokud přihlídneme k potenciálu senzorů, systém byl na vozidlo implementován. Zda jsou však data z něho využitelná pro řízení vozidla, to by se projevilo až při zahrnutí systému senzorů do modelu řízení vozidla.

V rámci kolizních senzorů bylo dosaženo funkčního systému, který zabraňuje srážce vozidla s pevnou překážkou nebo ji alespoň minimalizuje. Rozhodujícím faktorem při ladění tohoto systému je rozlišovací schopnost senzorů a kvalita výstupního signálu, která není příliš vysoká. Potenciál těchto senzorů byl však poměrně silně vyčerpán a efektivně využit.

Pokud by se měly kompletně shrnout dosažené výsledky, tak všechny body práce byly, ať již s větším či menším úspěchem, splněny. Na celém systému je jistě co zlepšovat. Během této práce bylo dosaženo funkční komunikace všech senzorů s řídicí jednotkou, a proto se případní nástupci mohou plně soustředit na zpracování signálu a jeho aplikaci do modelu řízení, což je práce časově velmi náročná a je závislá na spolupráci v týmu.

Největší přínos celé práce hledejme ve vytvoření funkčního kódu pro komunikaci I2C sběrnice s mikroprocesorem dsPIC. Jeho tvorba zabrala nejvíce času a velkou motivací pro práci na něm byla vize, že pomůže dalším studentům v mechatronické laboratoři a ušetří jim několik týdnů, které budou moci využít pro dosažení působivých výsledků.

9. Seznam použitých zkratek a symbolů

ADC, AD	analogově digitální převodník
DPS	deska plošných spojů
dsPIC	označení mikroprocesorů od firmy <i>Microchip</i> , v našem případě model dsPIC33FJ128MC804
I2C	dvoudrátová sériová sběrnice
IR	infračervený
NTC, PTC	negative/positive temperature coefficient
PWM	pulzně šířková modulace
RS 232	seriová linka
SMBus, SPI	System Management Bus/Serial Peripheral Interface - sběrnice
SMD	součástka pro povrchovou montáž plošných spojů

10. Seznam příloh

Přílohou práce je CD, které obsahuje tyto složky:

- **dokumentace** - obsahuje vlastní text práce ve formátu PDF, stejně tak jako zdrojové soubory pro generování textu práce v kódu LATEX
- **video** - sestříhané video z testování systému kolizních senzorů
- **I2C** - obsahuje .c soubor s funkcemi pro úspěšnou komunikaci pomocí I2C a dále soubor s radami pro vyvarování se častých chyb při vytváření modelu s I2C
- **modely** - modely vytvořené pro komunikaci s teplotními senzory, kolizními senzory a senzory polohy tlumičů
- **Eagle** - návrhy DPS pro teplotní senzor TMP275 a AD převodník ADS1015

Literatura

- [1] BALLUFF CZ: *Kapacitní snímače*: <http://www.balluff.cz/kapacitni-snimace.asp>, 2010-5.
- [2] BEST MICROCONTROLLER PROJECTS: *I2C tutorial*: <http://www.best-microcontroller-projects.com/index.html>, 2010-5.
- [3] DEĎO, M.: *Návrh a realizácia výukového modelu "oscilátor s jedným stupňom voľnosti"*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [4] DIRECT INDUSTRY: <http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/collision-sensor-76965.html>, 2010-5.
- [5] GREPL, R.: *Využití komplexních dynamických modelů při návrhu a řízení kráčejícího robota*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 52 s. Vedoucí práce Doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
- [6] JASANSKÝ M.: *Návrh dynamických modelů pro řízení trakce experimentálního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 110 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [7] KATEDRA MĚŘENÍ, ČVUT: *Reflexní snímač*: <http://measure.feld.cvut.cz/groups/micro/HC08/reflex.html#Uvod>, 2010-5.
- [8] LAMBERSKÝ V.: *Vývoj algoritmů pro odhad stavu experimentálního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [9] LUBIN KERHUEL WEBSITE: <http://www.kerhuel.eu/>, 2010-5.
- [10] SELET: *Indukční snímače*: <http://www.oemautomatic.cz/wps/wcm/connect/20a784804be84ab4a3c4a3a0afd2e087/Indukcni.pdf?MOD=AJPERES>, 2010-5.
- [11] SHARP: *GP2Y0A21YK0F*: <http://www.pololu.com/file/0J85/gp2y0a21yk0f.pdf>, 2010-5.
- [12] TRANSMOTEC: <http://www.transmotec.com>, 2010-5.
- [13] TEMPERATURES.COM: <http://www.temperatures.com/nu/sensors/>, 2010-5.
- [14] TEXAS INSTRUMENTS: *ADS1015*: <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/ads1015.pdf>, 2010-5.
- [15] TEXAS INSTRUMENTS: *TMP275*: <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tmp275.html>, 2010-5.
- [16] TOP SPEED: *Volkswagen's Park assist vision*: <http://www.disam.upm.es/cybertech/Nacional/Documentos/Componentes/CNY70.pdf>, 2010-5.

- [17] TZBINFO: *Teplota a její měření*: <http://vetrani.tzb-info.cz/t.py?t=2i=3115>, 2010-5.
- [18] VADLEJCH F.: *Konstrukce podvozku experimentálního vozidla se čtyřmi řízenými koly*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 52 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [19] VAVŘIČKA R.: *Bezdotykové měření teploty*: <http://www.utp.fs.cvut.cz/vz/clanky/104.pdf>, 2010-5
- [20] VEJLUPEK J.: *Vývoj elektroniky pro řízení trakce experimentálního vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 62 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Robert Grepl, Ph.D.
- [21] VISHAY CNY70: <http://www.disam.upm.es/cybertech/Nacional/Documentos/Componentes/CNY70.pdf>, 2010-5
- [22] VOLVO: <http://www.volvocars.com/>, 2010-5.
- [23] VLACH, R.: *Tepelné procesy v mechatronických soustavách*. BRNO: VUT, FSI, 2009, ISBN 978-80-214-3976-4.
- [24] VRZAL, O.: *Výpočtové a experimentální modelování oteplení stejnosměrného motoru chlazeného tepelnou trubicí*. BRNO: VUT, FSI, 2007.
- [25] WIKIPEDIA *I2C*: <http://en.wikipedia.org/wiki/I2C>, 2010-5.
- [26] WIKIPEDIA *Seebeckův jev*: http://cs.wikipedia.org/wiki/Termoelektrický_jev, 2010-5.
- [27] WIKIPEDIA *Termočlánek*: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Termočlánek>, 2010-5.
- [28] WIRED.CO.UK *Volvo Accidentally smashes new car in safety demo*: <http://www.wired.co.uk/news/archive/2010-05/07/video-volvo-accidentally-smashes-new-car-in-safety-demo>, 2010-5.